

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2002-043695

(43)Date of publication of application : 08.02.2002

(51)Int.Cl.

H01S 5/343

H01L 33/00

(21)Application number : 2000-224783

(71)Applicant : SHARP CORP

(22)Date of filing : 26.07.2000

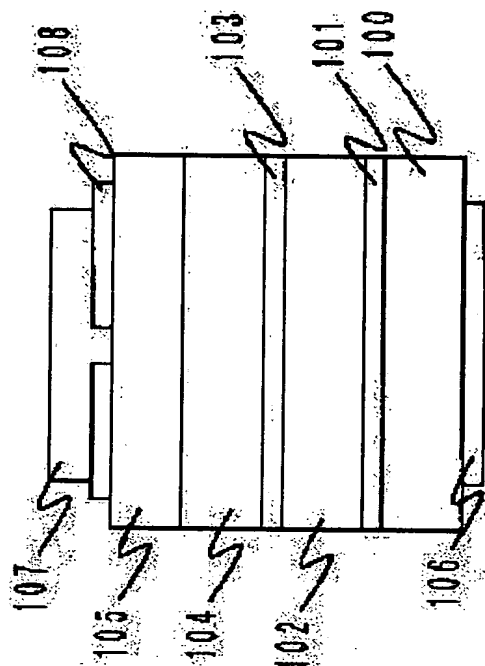
(72)Inventor : KAMIKAWA TAKESHI  
ITO SHIGETOSHI

## (54) LIGHT EMITTING ELEMENT

## (57)Abstract:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To solve such a problem that a conventional nitride-based light emitting element has an insufficient service life because an Al included in its active layer applies a large stress to an active layer and the stress produces cracking.

**SOLUTION:** This light emitting element is provided with an  $n\text{-Al}_{1-x}\text{Ga}_x\text{In}$  ( $0.05 < x < 0.3$ ) clad layer (film thickness of  $d_1 \mu\text{m}$ ), an active layer, and a  $p\text{-Al}_{1-x}\text{Ga}_x\text{In}$  ( $0.05 < x < 0.3$ ) clad layer (film thickness of  $d_2 \mu\text{m}$ ). The film thickness and Ga composition thereof are set to a range of  $2 < (x_1 \times d_1) / (x_2 \times d_2) \leq 10$ .



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

26.07.2002

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19) 日本国特許庁 (J・P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号  
特開2002-43695  
(P2002-43695A)

(43) 公開日 平成14年2月8日 (2002.2.8)

(51) Int.Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	テマコード*(参考)
H 0 1 S 5/343		H 0 1 S 5/343	5 F 0 4 1
H 0 1 L 33/00		H 0 1 L 33/00	C 5 F 0 7 3

審査請求 未請求 請求項の数 2 O L (全 7 頁)

(21) 出願番号 特願2000-224783(P2000-224783)

(22) 出願日 平成12年7月26日 (2000.7.26)

(71) 出願人 000005049

シャープ株式会社

大阪府大阪市阿倍野区長池町22番22号

(72) 発明者 神川 剛

大阪府大阪市阿倍野区長池町22番22号 シ

ャープ株式会社内

(72) 発明者 伊藤 茂穂

大阪府大阪市阿倍野区長池町22番22号 シ

ャープ株式会社内

(74) 代理人 100102277

弁理士 佐々木 晴康 (外2名)

Fターム(参考) 5F041 AA44 CA04 CA34 CA40 CA46

5F073 AA03 AA74 CA07 CB02 CB07

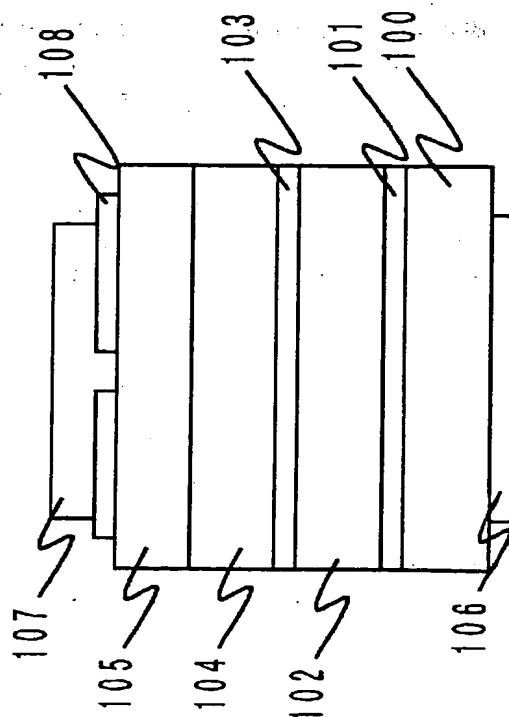
DA05 DA35 EA28

(54) 【発明の名称】 発光素子

(57) 【要約】

【課題】 窒化物系発光素子において、クラッド層に含まれるAlによって、活性層に大きな歪みがかかる、また、歪みによって発生するクラックによって、十分な寿命を持つ素子を得ることができなかった。

【解決手段】 基板上に $n\text{-Al}_{1-x_1}\text{Ga}_{x_1}\text{N}$  ( $0.05 < x_1 < 0.3$ ) クラッド層 (膜厚 $d_1$   $\mu\text{m}$ ) と、活性層と、 $p\text{-Al}_{1-x_2}\text{Ga}_{x_2}\text{N}$  ( $0.05 < x_2 < 0.3$ ) クラッド層 (膜厚 $d_2$   $\mu\text{m}$ ) とを備えた発光素子で、膜厚とGa組成を $2 < (x_1 \times d_1) / (x_2 \times d_2) \leq 10$ の範囲に設定する。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 窒化物半導体からなる基板と、基板上に順次形成された $Al_{1-x_1}Ga_{x_1}N$  ( $0.05 < x_1 < 0.3$ ) からなる第1クラッド層 (膜厚 $d_1 \mu m$ ) と、活性層と、 $Al_{1-x_2}Ga_{x_2}N$  ( $0.05 < x_2 < 0.3$ ) からなる第2クラッド層 (膜厚 $d_2 \mu m$ ) とを備えた発光素子であって、該第1クラッド層および該第2クラッド層の膜厚が、 $2 < (x_1 \times d_1) / (x_2 \times d_2) \leq 10$  の範囲に設定されることを特徴とする発光素子。

【請求項2】 前記第2クラッド層の膜厚が、 $0.2 \leq d_2 \leq 0.4$  の範囲に設定されることを特徴とする請求項1に記載の発光素子。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は窒化物半導体を用いた発光素子に関する。

## 【0002】

【従来の技術】 GaN、InN、AlNおよびそれらの混晶半導体に代表される窒化物系半導体材料により、青色から紫外領域で発光する半導体レーザ素子が試作されている。図5は、ジャパニーズ=ジャーナル=オブ=アプライド=フィジックス38号L184~L186ページ (Masaru KURAMOTO et al. Jpn. J. Appl. Phys., vol. 38 (1999) pp. L184~L186) に報告された、波長405nmで発振する窒化物半導体レーザ装置を示す図である。本半導体レーザ素子は、n-GaN基板200

(膜厚 $100 \mu m$ ) 上に、n-Al<sub>0.07</sub>Ga<sub>0.93</sub>N下部クラッド層201 (膜厚 $1 \mu m$ )、n-GaN下部ガイド層202 (膜厚 $0.1 \mu m$ )、In<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>N (膜厚3nm) / In<sub>0.05</sub>Ga<sub>0.95</sub>N (膜厚5nm) - 3重量子井戸活性層203、p-Al<sub>0.19</sub>Ga<sub>0.81</sub>Nキャップ層204 (膜厚20nm)、p-GaN上部ガイド層205 (膜厚 $0.1 \mu m$ )、p-Al<sub>0.07</sub>Ga<sub>0.93</sub>N上部クラッド層206 (膜厚 $0.5 \mu m$ )、p-GaNコンタクト層208 (膜厚 $0.05 \mu m$ ) が順次積層形成されており、また、p-GaNコンタクト層208の上にはp電極209、n-GaN基板200の下にはn電極210が形成されている。また、電流狭窄を行うためのSiO<sub>2</sub>膜207がp-Al<sub>0.07</sub>Ga<sub>0.93</sub>N上部クラッド層206上に形成されている。さらに、紙面と平行な面にミラー端面211が劈開法により形成されている。本レーザ素子では、活性層およびガイド層がクラッド層に挟まれた導波構造を有しており、活性層で発光した光は、この導波構造内に閉じ込められ、また、ミラー端面がレーザ共振器ミラーとして機能し、レーザ発振動作を生じる。

## 【0003】

【発明が解決しようとする課題】 しかし、従来用いられてきた構造でレーザ素子を作製したところ、APC駆動 (光出力を一定にするように駆動電流 (I<sub>op</sub>) を変化させる) 5mW (光出力)、50℃で駆動させたときの素子の寿命が数時間程度と短く問題であった。ここで、寿命とは、APC駆動で光出力5mW、20℃で、そのときのI<sub>op</sub>が寿命試験を開始した時点のI<sub>op</sub>に対して20%上昇するまでの時間とする。また、ここで示した5mW、APC駆動の寿命を低出力時の寿命、30mW、APC駆動、20℃の寿命を高出力時の寿命とする。通常、実用化および商品化には、30mW、10000時間の寿命が必要である。

## 【0004】

【課題を解決するための手段】 本願の発光素子は、窒化物半導体からなる基板と、基板上に順次形成された $Al_{1-x_1}Ga_{x_1}N$  ( $0.05 < x_1 < 0.3$ ) からなる第1クラッド層 (膜厚 $d_1 \mu m$ ) と、活性層と、 $Al_{1-x_2}Ga_{x_2}N$  ( $0.05 < x_2 < 0.3$ ) からなる第2クラッド層 (膜厚 $d_2 \mu m$ ) とを備えた発光素子であって、該第1クラッド層および該第2クラッド層の膜厚が、 $2 < (x_1 \times d_1) / (x_2 \times d_2) \leq 10$  の範囲に設定されることを特徴とする。

【0005】 さらに、前記第2クラッド層の膜厚が、 $0.2 \leq d_2 \leq 0.4$  の範囲に設定されることを特徴とする。

【0006】 なお、本明細書において窒化物半導体とは、窒素 (N) がV族元素の主体となるIII-V族化合物半導体のことを表わしており、 $XN_{1-s}AsPt$  ( $0 \leq s$ 、 $0 \leq t < 0.5$ 、 $0 \leq s+t < 0.5$ 、X: Al、Ga、In、Tlのすくなくともいずれか1つ) で表わされる化合物半導体を含む。また、本明細書において、 $Al_{1-x_1}Ga_{x_1}N$  ( $0 < x_1 < 1$ ) もしくは $Al_{1-x_2}Ga_{x_2}N$  ( $0 < x_2 < 1$ ) とは、本願の効果に影響のない少量 (原子数の3%以下の範囲) の別の元素が添加される場合も含む。

## 【0007】

【発明の実施の形態】 一般に、窒化物半導体の結晶成長を行う方法としては、有機金属気相成長法 (以下MOCVD法)、分子線エビタキシー法 (MBE法)、ハイドライド気相成長法 (HVPE法)、で行うのが通例であり、どの結晶成長法を用いてもよい。以下に、基板としてGaN基板を用い、成長法としてMOCVD法を用いて製造した窒化物半導体レーザおよび窒化物半導体発光ダイオードの例について記述する。基板としては、窒化物半導体で構成されている基板であれば良く、 $Al_xGa_yIn_zN_{1-x-y-z}$  基板であっても良い。特に、窒化物半導体レーザの場合、垂直横モードの単峰化のために、クラッド層よりも屈折率の低い層が該クラッド層の外側に接している必要があり、AlGaN基板を用いるのが最良である。

【0008】また、本発明において、 $n$ -AlGaInクラッド層、 $p$ -AlGaInクラッド層の層厚をおおの  $d_1$ 、 $d_2$ 、Al混晶比をおおの  $y_1$ 、 $y_2$  として示した。ここで、各クラッド層が多層構造（超格子構造）であった場合の  $d_1$ 、 $d_2$ 、 $y_1$ 、 $y_2$  の算出方法を述べる。たとえば図3に示すような多層構造のクラッド層を考えてみる。図3において、401は $n$ -GaInコンタクト層であり、402から407までは、402が $n$ -Al<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>N、403が $n$ -GaIn、404が $n$ -Al<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>Nと交互に積層された多層構造の $n$ 型

$$y = (y_1 \times d_1 + y_2 \times d_2 + \dots) / (d_1 + d_2 + \dots) \quad (1)$$

で示される。

【0010】請求項で示した $p$ 、 $n$ 各クラッド層の混晶比 $x_1$ 、 $x_2$ は、クラッド層が多層構造である場合、

(1)式で示した平均混晶比 $y$ となる。

(実施の形態1) 本実施の形態1では、窒化物半導体発光ダイオード素子の形成方法について説明する。図1は、窒化物半導体発光ダイオード構造を示しており、 $C$ 面(0001面)の $n$ 型GaIn基板100、 $n$ 型GaInバッファ層101、 $n$ 型Al <sub>$x$</sub> Ga<sub>1- $x$</sub> Inクラッド層102、活性層103、 $p$ 型Al <sub>$x$</sub> 2Ga<sub>1- $x$</sub> 2Nクラッド層104、 $p$ 型GaInコンタクト層105、 $n$ 型電極106、 $p$ 型電極107、SiO<sub>2</sub>108から構成されている。以下に図1の窒化物半導体発光ダイオードの製造方法について説明する。

【0011】まず、HVPE法で種基板（例えば、サファイア基板）上に厚膜のGaInを積層し、その後、研磨でサファイア基板を剥き取り、厚さ400 $\mu$ m、大きさ2インチφの $C$ 面(0001)の $n$ 型GaIn基板100を作製した。該 $n$ 型GaIn基板の $n$ 型極性は、Siをドーピングすることによって得られ、該Siの濃度は、 $2 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ であった。さらに、前記 $n$ 型GaIn基板中に約 $8 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ の塩素(Cl)をドーピングしている。次に、MOCVD装置に、前記 $n$ 型GaIn基板100をセットし、1050 $^{\circ}\text{C}$ の成長温度で $n$ 型GaInバッファ層101を1 $\mu$ m形成した。この $n$ 型GaInバッファ層は、種基板から $n$ 型GaIn基板を剥き取るときに生じた $n$ 型GaIn基板の表面歪みの緩和、表面モフォロジや表面凹凸の改善（平坦化）を目的に設けた層であり、無くても構わない。 $n$ 型GaInバッファ層101を形成後、続けて1.0 $\mu$ m厚の $n$ 型Al <sub>$x$</sub> Ga<sub>1- $x$</sub> In層102を形成した。このとき $x_1 = 0.1$ であった。

【0012】次に、基板の温度を700 $^{\circ}\text{C}$ 〜800 $^{\circ}\text{C}$ 程度に下げ、厚さ2nmのInGaIn井戸層と厚さ4nmのInGaIn障壁層を3周期積層した活性層（多重量子井戸層）103を成長する。その際、SiH<sub>4</sub>は供給してもよいし、供給しなくてもよい。なお、SiH<sub>4</sub>は、 $n$ 型Al <sub>$x$</sub> Ga<sub>1- $x$</sub> In層102を形成する工程までは供給しつづけていた。

【0013】次に、基板温度を再び1050 $^{\circ}\text{C}$ まで昇温

クラッド層になっている。408は $n$ -GaInガイド層である。この場合、 $d_1$ がクラッド層の厚さとする。各層の厚さがそれぞれ異なった場合であっても、 $d_1 = d_2 + d_3 + d_4 + \dots + d_7$ で計算される。ここでは、例として $n$ 型クラッド層を出したが、 $p$ 型クラッド層に関しても同様である。膜厚の測定はTEM（透過型電子顕微鏡）等の手段を用いる。

【0009】更に、クラッド層が多層構造である場合の平均混晶比は加重平均で以下のように求める。図3に示すように多層構造であった場合、平均混晶比 $y$ は、

して、0.4 $\mu$ m厚みの $p$ 型Al <sub>$x$</sub> 2Ga<sub>1- $x$</sub> 2N層104を成長する。このとき $x_2 = 0.1$ であった。その後、0.1 $\mu$ mの厚みの $p$ 型GaInコンタクト層105を成長した。本実施の形態の活性層103は、3周期からなる多重量子井戸構造を作製したが、その他の周期構造でも良く、井戸層のみの単一量子井戸構造でも良い。活性層はIn <sub>$x$</sub> 1Ga<sub>1- $x$</sub> 1Nから構成されていれば良く、所望の発光波長に応じてIn組成、もしくは井戸層厚を変化させればよい。

【0014】通常、活性層が多重量子井戸から構成され、発光波長が370nm以上の場合は、井戸層はInGaInから構成されていて、障壁層は少なくともGaInもしくはAlを含む窒化物半導体でなければならず、少なくとも井戸層もしくは障壁層の何れかに極性を有する不純物がドーピングされていなければならない。上記活性層中の井戸層または障壁層の、極性を有する不純物は、Si、Ge、O、C、Zn、Be、Mgの何れかが好ましい。

【0015】 $p$ 型GaInコンタクト層105の $p$ 型不純物濃度は、 $p$ 型電極107の形成位置に向かって、 $p$ 型不純物濃度を多くした方が好ましい。

【0016】このことにより $p$ 型電極形成によるコンタクト抵抗を低減する。また、 $p$ 型化不純物であるMgの活性化を妨げている $p$ 層中の残留水素を除去するために、 $p$ 型層成長中に微量の酸素を混入させてもよい。さらに、 $p$ 型GaInコンタクト層105の層厚は0.1 $\mu$ mより厚くても素子の寿命に関しては影響を与えないが、 $p$ 型コンタクト層が0.1 $\mu$ mより厚くなると、 $p$ コンタクト層に光が漏れ放射パターンにリップルが生じ乱れる。このため、 $p$ 型コンタクト層の厚さは0.1 $\mu$ m以下がよい。この様にして、 $p$ 型GaInコンタクト層105を成長後、MOCVD装置のリアクター内を全窒素キャリアガスとNH<sub>3</sub>に変えて、60 $^{\circ}\text{C}$ /分で温度を降下させた。基板温度が850 $^{\circ}\text{C}$ に達した時点で、NH<sub>3</sub>の供給を停止して、5分間、前記基板温度で待機してから、室温まで降下させた。上記基板の保持温度は650 $^{\circ}\text{C}$ から900 $^{\circ}\text{C}$ の間が好ましく、待機時間は、3分以上15分以下が好ましかった。また、降下温度の到達速度は、30 $^{\circ}\text{C}$ /分以上が好ましい。このようにして作製

された成長膜をラマン測定によって評価した結果、従来、利用されているp型化アニールを行わなくとも、成長後すでにp型化の特性を示していた。また、p型電極形成によるコンタクト抵抗も低減していた。SIMS (secondary ion mass spectrometer) 測定を行った結果、残留水素濃度がp型Ga<sub>0.9</sub>N<sub>0.1</sub>コンタクト層105最表面近傍で $3 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以下であった。発明者らによる実験によると、成長膜を形成後、NH<sub>3</sub>雰囲気中で基板温度を室温まで降下させたとき、残留水素濃度が成長膜最表面近傍が高かったことから、成長膜最表面近傍の残留水素濃度は、成長終了後のNH<sub>3</sub>雰囲気が原因であると考えられる。この残留水素は、p型化不純物であるMgの活性化を妨げることか知られている。前記残留水素濃度は、 $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 以下が好ましい。

【0017】この様にp型Ga<sub>0.9</sub>N<sub>0.1</sub>コンタクト層105成長後に、キャリアガスをN<sub>2</sub>で置換し、NH<sub>3</sub>の供給を停止して所定の時間、成長温度を保持することによって、p型化を促し、成長膜最表面近傍の残留水素濃度を下げ、コンタクト低抗を低減できた。また、p型電極形成によるコンタクト低抗をさらに低減する方法として、成長膜最表面(p型層の最表面)近傍をエッチングにより除去し、その除去面にp型電極を形成すると良い。成長膜最表面(p型層の最表面)を除去する層厚は、10nm以上が好ましく、特に上限値はないが、除去面近傍の残留水素濃度が $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 以下になることが好ましい。

【0018】次に、p型Ga<sub>0.9</sub>N<sub>0.1</sub>コンタクト層105上にSiO<sub>2</sub>108を蒸着する。その後、フォトリソとエッチングによりSiO<sub>2</sub>を3μm幅のストライプで除去する。次に図1のように、p型Ga<sub>0.9</sub>N<sub>0.1</sub>コンタクト層105とSiO<sub>2</sub>108上に、Pd(10nm)/Mo(10nm)/Au(150nm)の順に、p型電極107をリソグラフィ技術でパターン形成した後、微量の酸素を導入しながら、N<sub>2</sub>雰囲気中でアニールを行った。このことにより、p型電極形成によるコンタクト抵抗の低抵抗化が得られた。

【0019】次に、上記窒化物半導体発光ダイオード素子を形成したエピウエハーのチップ分割について説明する。チップ分割までのプロセス手順を示す。まず、上記エピウエハーのGa<sub>0.9</sub>N<sub>0.1</sub>基板側を研削機により研削して、塩素ドーピングされたGa<sub>0.9</sub>N<sub>0.1</sub>基板の厚さを150μmにする。次に、研磨したGa<sub>0.9</sub>N<sub>0.1</sub>基板側に、Ti(30nm)/Al(200nm)によるn型電極を、Ga<sub>0.9</sub>N<sub>0.1</sub>基板面全体に蒸着し形成する。ここで、前記エピウエハーのエピ膜側(Ga<sub>0.9</sub>N<sub>0.1</sub>基板面の逆の面)に、ダイヤモンド針でスクライブすることにより、罫書き線をいれる。罫書き方向は窒化物半導体に対して<1-100>である。罫書き部分は基板の周囲から1-2mm程度の長さである。次に行うブレーキングによって素子を分割す

る。このブレーキングでは、先に入れたスクライブ線に一致するようにブレーキング刃をGa<sub>0.9</sub>N<sub>0.1</sub>基板面側(スクライブを入れた面と逆面)から当ててウエハーを押し割る。このようにすることで素子をバーの状態に分割することが可能である。次に、このバーを、<11-20>方向に、周囲から1-2mm程度で、エピ膜側に罫書き線を入れる。更に先に入れたスクライブ線に一致するようにブレーキング刃をGa<sub>0.9</sub>N<sub>0.1</sub>基板側(スクライブを入れた面と逆面)から当ててブレーキングする事により、一つのチップ単位に分割する。

【0020】このようにして得られたLDチップをシステム上にInを用いてマウントし、APC駆動で50℃、5mW、および30mWで寿命試験を行ったところ図2に示すような結果となった。各素子の発光波長は400nmであった。各点に対して各々20サンプル寿命試験を行い、10サンプルは30mW、APC駆動の高出力寿命試験、残りの10サンプルは5mW、APC駆動の低出力試験を行った。図2に示す記号は、○が30mW、および5mWのAPC駆動の寿命試験において9割以上のサンプルが10000時間以上寿命があったもの、△が5mWのAPC駆動の寿命試験においてのみ9割以上のサンプルが10000時間以上寿命があったもの、×は30mW、5mWどちらの寿命試験においても上記の条件を満たさなかったロットを示している。今回図2に示した実験結果は、 $x_1 = x_2$ の場合である。図2の示す通り、pクラッド層の膜厚は0.2μm以上0.4μm以下で、 $(x_1 \times n \text{クラッド層厚}) / (x_2 \times p \text{クラッド層厚})$ が2.0より大きく10以下であることが必要であり、好ましくは $(x_1 \times n \text{クラッド層厚}) / (x_2 \times p \text{クラッド層厚})$ が2.5以上、9以下であることが分かった。

【0021】pクラッド層の膜厚が0.2μmより薄い場合、有効なキャリアの閉じ込めと光閉じ込めができなくなり、レーザ発振しなくなってしまう。また0.4μm以上となると、歪みによる影響から、pクラッド層に転位が多数発生し、通電中に転位が増殖して活性層に到達しレーザの寿命を短くしてしまうことが分かった。

【0022】また、 $(x_1 \times n \text{クラッド層厚}) / (x_2 \times p \text{クラッド層厚})$ が2.0以下である場合、二つのクラッド層に挟まれた活性層に非常に大きな圧縮歪みがかかることになる。活性層にかかる、過度の歪みのために、貫通転位が増殖し素子の寿命が短くなってしまう。また、 $(x_1 \times n \text{クラッド層厚}) / (x_2 \times p \text{クラッド層厚})$ が10より大きい場合、nクラッドが自体にかかる歪みが大きくなり、クラックを生じてしまい、素子寿命を著しく低下させる。

(実施の形態2) 成長手順、成長する膜の組成、膜厚、温度等のプロセスは、実施の形態1と同様で、ただnクラッド層とpクラッド層のAl組成のみを変えて実験を行った。本実施の形態においては2.0μm厚のn型A

$\text{Al}_{x1}\text{Ga}_{1-x1}\text{N}$ 層で $x1=0.15$ であり、また、 $0.3\mu\text{m}$ 厚みの $p$ 型 $\text{Al}_{x2}\text{Ga}_{1-x2}\text{N}$ 層で $x2=0.15$ であった。

【0023】実施の形態1と同様の条件で、 $30\text{mW}$ 、 $5\text{mW}$ のAPC駆動において寿命試験を行った。 $\text{Al}$ の組成を変化させた場合であっても、 $90\%$ 以上の素子が $10000$ 時間以上の寿命を持つ条件は、 $p$ クラッド層の膜厚は $0.2\mu\text{m}$ 以上 $0.4\mu\text{m}$ 以下で、 $(x1 \times n\text{クラッド層厚}) / (x2 \times p\text{クラッド層厚})$ が $2.0$ より大きく $10$ 以下であることが必要であり、好ましくは $(x1 \times n\text{クラッド層厚}) / (x2 \times p\text{クラッド層厚})$ が $2.5$ 以上必要であることが分かった。

(実施の形態3) 成長手順、成長する膜の組成、膜厚、温度等のプロセスは、実施の形態1と同様で、ただ $n$ クラッドと $p$ クラッドの $\text{Al}$ 組成のみを変えて実験を行った。本実施の形態においては $0.7\mu\text{m}$ 厚の $n$ 型 $\text{Al}_{x1}\text{Ga}_{1-x1}\text{N}$ 層で $x1=0.09$ であり、また、 $0.25\mu\text{m}$ 厚みの $p$ 型 $\text{Al}_{x2}\text{Ga}_{1-x2}\text{N}$ 層で $x2=0.07$ であった。

【0024】実施の形態1と同様の条件で、 $30\text{mW}$ 、 $5\text{mW}$ のAPC駆動において寿命試験を行った。図4に実験結果を示す。 $\text{Al}$ の組成を $n$ クラッド層と $p$ クラッド層で変化させた場合であっても、 $90\%$ 以上の素子が $10000$ 時間以上の寿命を持つ条件は、 $p$ クラッド層の膜厚は $0.2\mu\text{m}$ 以上 $0.4\mu\text{m}$ 以下で、 $(x1 \times n\text{クラッド層厚}) / (x2 \times p\text{クラッド層厚})$ が $2.0$ より大きく $10$ 以下であることが必要であり、好ましくは $(x1 \times n\text{クラッド層厚}) / (x2 \times p\text{クラッド層厚})$ が $2.5$ 以上必要であることが分かった。

(実施の形態4) 成長手順、成長する膜の組成、膜厚、温度等のプロセスは、実施の形態1と同様で、3周期の、厚さ $2\text{nm}$ の $\text{InGaIn}$ 井戸層と厚さ $4\text{nm}$ の $\text{InGaIn}$ 障壁層より構成される活性層(多重量子井戸層)  $103$ の $\text{InGaIn}$ 井戸層のみに $\text{As}$ を添加する。このとき、素子の発光波長は $400\text{nm}$ であった。

【0025】実施の形態1と同様の条件で、 $30\text{mW}$ 、 $5\text{mW}$ のAPC駆動において寿命試験を行った。活性層の井戸層に $\text{As}$ を添加した場合であっても、 $90\%$ 以上の素子が $10000$ 時間以上の寿命を持つ条件は、 $p$ クラッド層の膜厚は $0.2\mu\text{m}$ 以上 $0.4\mu\text{m}$ 以下で、 $(x1 \times n\text{クラッド層厚}) / (x2 \times p\text{クラッド層厚})$ が $2.0$ より大きく $10$ 以下であることが必要であり、好ましくは $(x1 \times n\text{クラッド層厚}) / (x2 \times p\text{クラッド層厚})$ が $2.5$ 以上必要であることが分かった。

(実施の形態5) 成長手順、成長する膜の組成、膜厚、温度等のプロセスは、実施の形態1と同様で、3周期の、厚さ $2\text{nm}$ の $\text{InGaIn}$ 井戸層と厚さ $4\text{nm}$ の $\text{InGaIn}$ 障壁層より構成される活性層(多重量子井戸層)  $103$ の $\text{InGaIn}$ 井戸層と $\text{InGaIn}$ 障壁層の両層に $\text{As}$ を添加する。このとき、発光波長は $400\text{nm}$ であ

った。

【0026】実施の形態1と同様の条件で、 $30\text{mW}$ 、 $5\text{mW}$ のAPC駆動において寿命試験を行った。活性層の井戸層と障壁層に $\text{As}$ を添加した場合であっても、 $90\%$ 以上の素子が $10000$ 時間以上の寿命を持つ条件は、 $p$ クラッド層の膜厚は $0.2\mu\text{m}$ 以上 $0.4\mu\text{m}$ 以下で、 $(x1 \times n\text{クラッド層厚}) / (x2 \times p\text{クラッド層厚})$ が $2.0$ より大きく $10$ 以下であることが必要であり、好ましくは $(x1 \times n\text{クラッド層厚}) / (x2 \times p\text{クラッド層厚})$ が $2.5$ 以上必要であることが分かった。

(実施の形態6) 成長手順、成長する膜の組成、膜厚、温度等のプロセスは、実施の形態1と同様で、3周期の、厚さ $2\text{nm}$ の $\text{InGaIn}$ 井戸層と厚さ $4\text{nm}$ の $\text{InGaIn}$ 障壁層より構成される活性層(多重量子井戸層)  $103$ の $\text{InGaIn}$ 井戸層のみに $\text{P}$ を添加する。このとき、素子の発光波長は $400\text{nm}$ であった。

【0027】実施の形態1と同様の条件で、 $30\text{mW}$ 、 $5\text{mW}$ のAPC駆動において寿命試験を行った。活性層の井戸層に $\text{P}$ を添加した場合であっても、 $90\%$ 以上の素子が $10000$ 時間以上の寿命を持つ条件は、 $p$ クラッド層の膜厚は $0.2\mu\text{m}$ 以上 $0.4\mu\text{m}$ 以下で、 $(x1 \times n\text{クラッド層厚}) / (x2 \times p\text{クラッド層厚})$ が $2.0$ より大きく $10$ 以下であることが必要であり、好ましくは $(x1 \times n\text{クラッド層厚}) / (x2 \times p\text{クラッド層厚})$ が $2.5$ 以上必要であることが分かった。

(実施の形態7) 成長手順、成長する膜の組成、膜厚、温度等のプロセスは、実施の形態1と同様で、3周期の、厚さ $2\text{nm}$ の $\text{InGaIn}$ 井戸層と厚さ $4\text{nm}$ の $\text{InGaIn}$ 障壁層より構成される活性層(多重量子井戸層)  $103$ の $\text{InGaIn}$ 井戸層と $\text{InGaIn}$ 障壁層の両層に $\text{P}$ を添加する。このとき、素子の発光波長は $400\text{nm}$ であった。

【0028】実施の形態1と同様の条件で、 $30\text{mW}$ 、 $5\text{mW}$ のAPC駆動において寿命試験を行った。活性層の井戸層と障壁層に $\text{P}$ を添加した場合であっても、 $90\%$ 以上の素子が $10000$ 時間以上の寿命を持つ条件は、 $p$ クラッド層の膜厚は $0.2\mu\text{m}$ 以上 $0.4\mu\text{m}$ 以下で、 $(x1 \times n\text{クラッド層厚}) / (x2 \times p\text{クラッド層厚})$ が $2.0$ より大きく $10$ 以下であることが必要であり、好ましくは $(x1 \times n\text{クラッド層厚}) / (x2 \times p\text{クラッド層厚})$ が $2.5$ 以上必要であることが分かった。

【0029】上記に示した、実施の形態1～8において、素子の発光波長は $400\text{nm}$ であったが、 $370\sim 440\text{nm}$ の範囲で、寿命試験を行っても、実施の形態1と同様の結果であった。また、上記実施の形態ではLEDに関して記述したが、LEDの光出力強度に関しても実施の形態1と、同様の結果が得られた。

【0030】

【発明の効果】窒化物半導体からなる基板と、基板上に準じ形成された $\text{Al}_{1-x_1}\text{Ga}_{x_1}\text{N}$  ( $0.05 < x_1 < 0.3$ ) からなる第1クラッド層 (膜厚  $d_1 \mu\text{m}$ ) と、活性層と、 $\text{Al}_{1-x_2}\text{Ga}_{x_2}\text{N}$  ( $0.05 < x_2 < 0.3$ ) からなる第2クラッド層 (膜厚  $d_2 \mu\text{m}$ ) とを備えた発光素子であって、該第1クラッド層及び該第2クラッド層の膜厚が、 $2 < (x_1 \times d_1) / (x_2 \times d_2) \leq 10$  時25分の範囲に設定し、素子にかかる歪み等を制御することにより、本発明の発光素子は、30mW、および5mWのAPC駆動の寿命試験において9割以上のサンプルが10000時間以上と長い寿命を保つことができた。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の発光素子の構造を示す断面図である。

【図2】寿命試験結果のグラフである。

【図3】素子構造の概略図である。

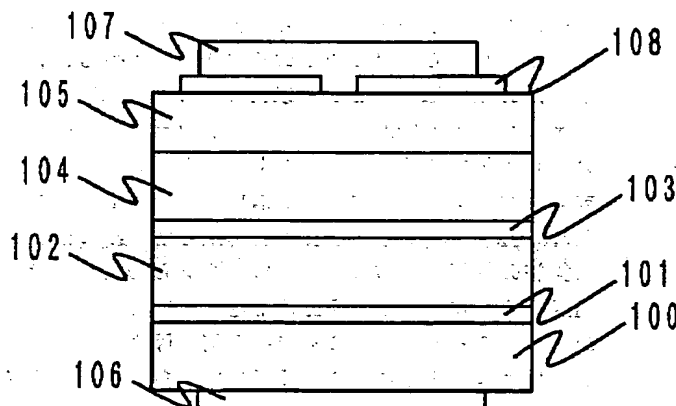
【図4】寿命試験結果のグラフである。

【図5】従来例の発光素子の構造を示す断面図である。

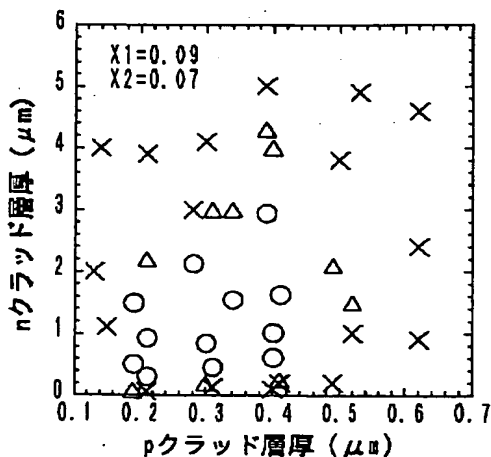
【符号の説明】

- 100 n型Ga<sub>0.9</sub>N基板
- 101 n型Ga<sub>0.9</sub>Nバッファ層
- 102 n型 $\text{Al}_{x_1}\text{Ga}_{1-x_1}\text{N}$ クラッド層
- 103 活性層
- 104 p型 $\text{Al}_{x_2}\text{Ga}_{1-x_2}\text{N}$ クラッド層
- 105 p型Ga<sub>0.9</sub>Nコンタクト層
- 106 n型電極
- 107 p型電極
- 108  $\text{SiO}_2$
- 401 n-GaNコンタクト層
- 402、404、406、n-Al<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>N
- 403、405、407 n-GaN
- 408 n-GaNガイド層

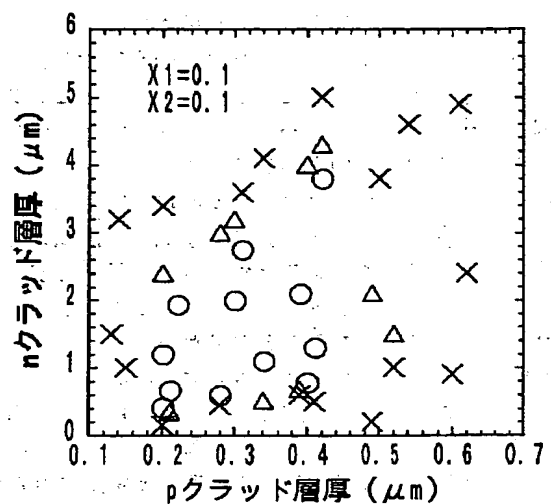
【図1】



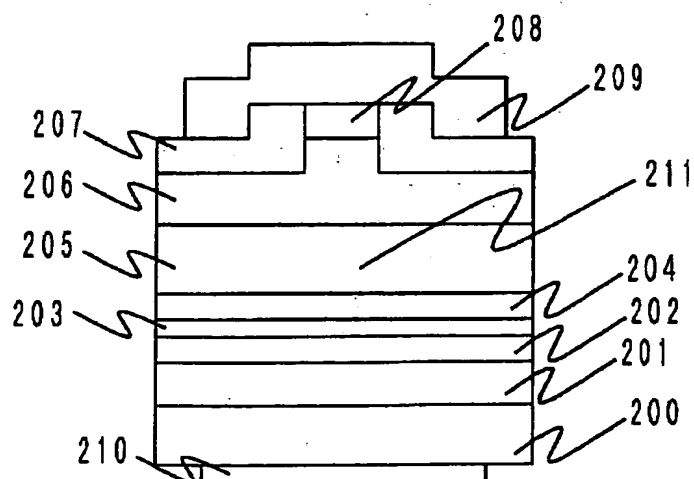
【図4】



【図2】



【図5】



【図 3】

